

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-089263

(43)Date of publication of application : 31.03.2000

(51)Int.Cl. G02F 1/313  
H04B 10/02  
H04Q 3/52

(21)Application number : 10-338109

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP  
<NTT>

(22)Date of filing : 27.11.1998

(72)Inventor : HATTORI KUNINORI  
FUKUI MASAKI  
JINNO MASAHIKO

(30)Priority

Priority number : 09326333  
10200602

Priority date : 27.11.1997  
15.07.1998

Priority country : JP

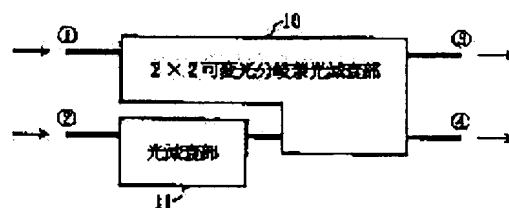
JP

## (54) OPTICAL CIRCUIT AND NETWORK

### (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide both an and/drop function and an optical attenuating function and moreover to suppress an insertion loss to the minimum and also to realize an optical attenuating operation which does not depend upon polarization and a high extinction ratio.

SOLUTION: This circuit has a  $2 \times 2$  variable optical branching and optical attenuating part 10 and an optical attenuating part 11. The  $2 \times 2$  variable optical branching and optical attenuating part 10 functions as an optical attenuator with respect to a main input signal light passing from a main input port (1) to a main output port (4) and functions as an optical switch having a high extinction ratio in the exchanging of an add light and a drop light to output the drop light inputted from the main input port (1) to a drop port (3). The optical attenuating part 11 functions as an optical attenuator with respect to an add light to be inputted from an add port (2). The add light passed through the optical attenuating part 11 is inputted to the  $2 \times 2$  variable optical branching and optical attenuating part 10 functioning as the optical switch and it is outputted to the main output port (4).



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

12.01.2001

[Date of sending the examiner's decision of

rejection]

[Kind of final disposal of application other than  
the examiner's decision of rejection or  
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-89263

(P2000-89263A)

(43) 公開日 平成12年3月31日 (2000.3.31)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テマコード\* (参考)

G 0 2 F 1/313

G 0 2 F 1/313

H 0 4 B 10/02

H 0 4 Q 3/52

B

H 0 4 Q 3/52

H 0 4 B 9/00

U

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平10-338109

(71) 出願人 000004226

(22) 出願日 平成10年11月27日 (1998. 11. 27)

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(31) 優先権主張番号 特願平9-326333

(72) 発明者 服部 邦典

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本

(32) 優先日 平成9年11月27日 (1997. 11. 27)

電信電話株式会社内

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(72) 発明者 福井 将樹

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本

(31) 優先権主張番号 特願平10-200602

電信電話株式会社内

(32) 優先日 平成10年7月15日 (1998. 7. 15)

(72) 発明者 神野 正彦

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

電信電話株式会社内

(74) 代理人 100072718

弁理士 古谷 史旺

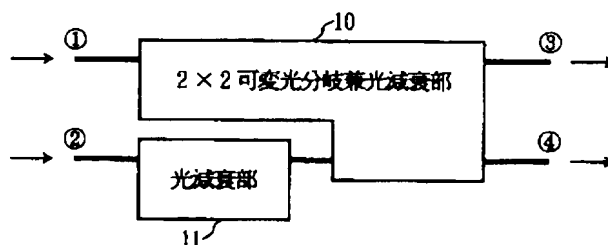
(54) 【発明の名称】 光回路およびネットワーク

(57) 【要約】

本発明の光回路の基本構成

【課題】 アド/ドロップ機能と光減衰機能を兼ね備え、さらに挿入損失を最小限に抑え、かつ偏波無依存の光減衰動作と高消光比を実現する。

【解決手段】  $2 \times 2$  可変光分岐兼光減衰部 10 と光減衰部 11 を有する。 $2 \times 2$  可変光分岐兼光減衰部 10 は、主入力ポート から主出力ポート に通過する主入力信号光に対しては光減衰器として機能する。アド光とドロップ光の入れ替えでは高消光比の光スイッチとして機能し、主入力ポート から入力されたドロップ光をドロップポート に出力する。光減衰部 11 は、アドポート から入力されるアド光に対して光減衰器として機能する。この光減衰部 11 を通過したアド光は、光スイッチとして機能する  $2 \times 2$  可変光分岐兼光減衰部 10 に入力され、主出力ポート に出力される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 主入力ポートから入力された主入力信号光に所定の減衰を与えて主出力ポートに出力する光減衰機能と、主入力ポートから入力されたドロップ光をドロップポートに出力し、サブ入力ポートから入力されたアド光を主出力ポートに出力する光分岐機能とを含む $2 \times 2$ 可変光分岐兼光減衰部と、

アドポートから入力されたアド光に所定の減衰を与え、前記 $2 \times 2$ 可変光分岐兼光減衰部のサブ入力ポートに入力させる光減衰部と

を備え、前記各部が平面基板上に形成したクラッド部とクラッド部より屈折率が高いコア部からなる平面型光導波路で構成されたことを特徴とする光回路。

【請求項2】 請求項1に記載の光回路において、 $2 \times 2$ 可変光分岐兼光減衰部および光減衰部は、2本の入力導波路、2組の3dB合分波器、2本のアーム導波路、アーム導波路上に設けられる位相調整部、2本の出力導波路からなるマッハツェンダ型干渉計により構成し、かつ $2 \times 2$ 可変光分岐兼光減衰部は前記マッハツェンダ型干渉計を3段以上連続に接続した構成であり、前記各マッハツェンダ型干渉計の位相調整により前記 $2 \times 2$ 可変光分岐兼光減衰部および光減衰部の動作を制御する構成であることを特徴とする光回路。

【請求項3】 請求項2に記載の光回路において、 $2 \times 2$ 可変光分岐兼光減衰部を2段のマッハツェンダ型干渉計で構成し、第1のマッハツェンダ型干渉計の一方の入力導波路を主入力ポートとし、第1のマッハツェンダ型干渉計の一方の出力導波路と第2のマッハツェンダ型干渉計の一方の入力導波路を接続し、第2のマッハツェンダ型干渉計の2つの出力導波路をドロップポートおよび主出力ポートとし、光減衰部を構成するマッハツェンダ型干渉計の一方の入力導波路をアドポートとし、その一方の出力導波路と前記 $2 \times 2$ 可変光分岐兼光減衰部を構成する第2のマッハツェンダ型干渉計の他方の入力導波路（サブ入力ポート）を接続することを特徴とする光回路。

【請求項4】 請求項2に記載の光回路において、 $2 \times 2$ 可変光分岐兼光減衰部を2段のマッハツェンダ型干渉計で構成し、第1のマッハツェンダ型干渉計の一方の入力導波路を主入力ポートとし、第1のマッハツェンダ型干渉計の一方の出力導波路をドロップポートとし、第1のマッハツェンダ型干渉計の他方の出力導波路と第2のマッハツェンダ型干渉計の一方の入力導波路を接続し、第2のマッハツェンダ型干渉計の一方の出力導波路を主出力ポートとし、光減衰部を構成するマッハツェンダ型干渉計の一方の入力導波路をアドポートとし、その一方の出力導波路と前記 $2 \times 2$ 可変光分岐兼光減衰部を構成する第2のマッハツェンダ型干渉計の他方の入力導波路（サブ入力ポート）を接続することを特徴とする光回路。

【請求項5】 請求項4に記載の光回路において、 $2 \times 2$ 可変光分岐兼光減衰部を構成する2つのマッハツェンダ型干渉計の間、および光減衰部と $2 \times 2$ 可変光分岐兼光減衰部との間に波長板を備えることを特徴とする光回路。

【請求項6】 請求項4に記載の光回路において、 $2 \times 2$ 可変光分岐兼光減衰部を構成する第1のマッハツェンダ型干渉計の対称中心の位置、および光減衰部を構成するマッハツェンダ型干渉計の対称中心の位置に波長板を備えることを特徴とする光回路。

【請求項7】 請求項2に記載の光回路において、 $2 \times 2$ 可変光分岐兼光減衰部を3段のマッハツェンダ型干渉計で構成し、第1のマッハツェンダ型干渉計の一方の入力導波路を主入力ポートとし、第1のマッハツェンダ型干渉計の一方の出力導波路をドロップポートとし、第1のマッハツェンダ型干渉計の他方の出力導波路と第2のマッハツェンダ型干渉計の一方の入力導波路を波長板を介して接続し、第2のマッハツェンダ型干渉計の一方の出力導波路と第3のマッハツェンダ型干渉計の一方の入力導波路を接続し、第3のマッハツェンダ型干渉計の一方の出力導波路を主出力ポートとし、光減衰部を2段のマッハツェンダ型干渉計で構成し、第1のマッハツェンダ型干渉計の一方の入力導波路をアドポートとし、第1のマッハツェンダ型干渉計の一方の出力導波路と第2のマッハツェンダ型干渉計の一方の入力導波路を波長板を介して接続し、第2のマッハツェンダ型干渉計の一方の出力導波路と前記 $2 \times 2$ 可変光分岐兼光減衰部を構成する第3のマッハツェンダ型干渉計の他方の入力導波路（サブ入力ポート）を接続することを特徴とする光回路。

【請求項8】 請求項2に記載の光回路において、 $2 \times 2$ 可変光分岐兼光減衰部を2段のマッハツェンダ型干渉計で構成し、第1のマッハツェンダ型干渉計の一方の入力導波路を主入力ポートとし、第1のマッハツェンダ型干渉計の一方の出力導波路をドロップポートとし、第1のマッハツェンダ型干渉計の他方の出力導波路と第2のマッハツェンダ型干渉計の一方の入力導波路を波長板を介して接続し、第2のマッハツェンダ型干渉計の一方の出力導波路を主出力ポートとし、光減衰部を2段のマッハツェンダ型干渉計で構成し、第1のマッハツェンダ型干渉計の一方の入力導波路をアドポートとし、第1のマッハツェンダ型干渉計の一方の出力導波路と第2のマッハツェンダ型干渉計の一方の入力導波路を波長板を介して接続し、第2のマッハツェンダ型干渉計の一方の出力導波路と前記 $2 \times 2$ 可変光分岐兼光減衰部を構成する第2のマッハツェンダ型干渉計の他方の入力導波路（サブ入力ポート）を接続することを特徴とする光回路。

【請求項9】 請求項4、7、8のいずれかに記載の光回路において、

一方の出力導波路が主出力ポートとなるマッハツェンダ型干渉計が他方の出力導波路を性能監視ポートとし、このマッハツェンダ型干渉計の位相調整により前記主出力ポートに出力される主入力信号光またはアド光を前記性能監視ポートに出力する構成であることを特徴とする光回路。

【請求項10】 請求項2に記載の光回路において、  
2×2可変光分岐兼光減衰部を構成するマッハツェンダ型干渉計の位相調整により、主入力ポートに入力された主入力信号光が所定の分配比でドロップポートと主出力ポートの両ポートに分配される構成であることを特徴とする光回路。

【請求項11】 複数のノードがバス状またはリング状に連結され、あるノードから送出された特定波長の光信号を他の複数のノードに分配するマルチキャスト機能を有するネットワークにおいて、  
前記光信号を分配されるノードは、  
波長多重された信号光を増幅する光増幅器と、  
波長多重された信号光の中から所定の波長の信号光を分離する光分波器と、  
分波された信号光の光強度の一部をドロップポートに出力し、信号光の残りの光強度を必要なレベルに調整して主出力ポートに出力する請求項10に記載の光回路と、  
前記光回路の主出力ポートから出力される信号光を他の波長の信号光と合波する光合波器と、  
前記光合波器から出力される波長多重された信号光を増幅する光増幅器とを備えたことを特徴とするネットワーク。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、波長分割多重通信システムにおいて、波長バスの追加および抜き出しを行うノード（以下、OADM（Optical Add/Drop Mux）ノードという）を構成する光スイッチ部および光減衰部として用いられる光回路に関する。さらに、OADMノードにマルチキャスト機能を実現する光回路を備えたネットワークに関する。

【0002】

【従来の技術】 光ファイバ伝送路を介してリング状またはバス状に接続された複数のOADMノード間で波長バスを設定する波長分割多重通信システムは、トラヒック変動に対してバス構成を変更することにより柔軟に対応でき、伝送路や端局装置の障害に対して簡単に対処できる特徴がある。

【0003】 図12は、OADMノードの概略構成を示す。図において、伝送用光ファイバ45、52間に挿入されるOADMノードは、プリアンプ46、分波器47、アド・ドロップ用の2×2光スイッチ48、光減衰器49、合波器50、ポストアンプ51により構成される。

【0004】 波長多重された信号光は伝送用光ファイバ45からOADMノードに入力され、プリアンプ46で増幅された後に分波器47で各波長に分波される。ここで、OADMノードを通過する信号光は、2×2光スイッチ48の主入力ポート（から主出力ポート）に出力され、光減衰器49でパワー調整された後に合波器50で他の波長の信号光と合波され、ポストアンプ51で増幅されて伝送用光ファイバ52に送出され、次のOADMノードに伝搬する。

【0005】 一方、OADMノードでドロップする信号光（ドロップ光）は、2×2光スイッチ48の主入力ポート（からドロップポート）に抜き出される。また、OADMノードでアドする信号光（アド光）は2×2光スイッチ48のアドポート（から入力して主出力ポート）に出力することにより、通過する信号光と同様に伝送用光ファイバ52に送出される。

【0006】 本OADMノードを構成する光部品のうち、プリアンプ46およびポストアンプ51としてエルビウム添加工率ファイバ増幅器が用いられ、分波器47および合波器50としてアレイ導波路回折格子が用いられる。

【0007】 2×2光スイッチ48および光減衰器49は、光増幅器の帯域確保の観点から挿入損失ができる限り小さいことが望ましい。また、2×2光スイッチ48および光減衰器49は波長数に応じた台数が必要なことから、安価で小型である必要がある。さらに、2×2光スイッチ48はアド・ドロップ動作において、ドロップ光がアド光に混入することによるアド光の伝送特性劣化を防ぐために、アド光に対してドロップ光が十分に消光している必要がある。さらに、光減衰器49は、減衰量の偏波依存性が小さいことが要求される。従来、これらの条件を考慮して、2×2光スイッチ48として石英系光導波路型スイッチまたは自己保持式ファイバ型スイッチが用いられ、光減衰器49としてファラデー効果を用いたファイバ型光減衰器または石英系光導波路型光減衰器等が用いられていた。

【0008】 図13は、従来の石英系光導波路型スイッチの構成例を示す（参考文献：Okamoto et al., "16-channel optical add/drop multiplexer consisting of arrayed-waveguide gratings and double-gate switches", Electron. Lett., vol. 32, p. 1471, 1996）。

【0009】 本光回路は、4つのマッハツェンダ型干渉計61～64を接続した構成である。各マッハツェンダ型干渉計は、2本の入力導波路、2組の3dB方向性結合器、長さの等しい2本のアーム導波路、一方のアーム導波路上に設けられた位相調整用薄膜ヒータ、2本の出力導波路から構成される。ここで、各マッハツェンダ型干渉計の位相調整用薄膜ヒータをSW61、SW62、SW63、SW64とする。各マッハツェンダ型干渉計は位相調整用薄膜ヒータを駆動（通電加熱）することに

より、熱光学効果により光路切り替えスイッチとして動作する。すなわち、入力光信号は、位相調整用薄膜ヒータの通電または非通電により、スルーポートまたはクロスポートに出力される。

【0010】本光回路をOADMノードの $2 \times 2$ 光スイッチ48として用いるには、SW61～SW64を次のように駆動する。主入力ポート1から入力する主入力信号光を主出力ポート1から出力する通過動作は、SW62、SW64に通電し、SW61、SW63に通電しない。すなわち、主入力ポート1から入力された主入力信号光は、SW61に通電しないことによりマッハツェンダ型干渉計61のクロスポートからマッハツェンダ型干渉計64に入力され、SW64に通電することにより主出力ポート1から出力される。このとき、マッハツェンダ型干渉計61のスルーポートからマッハツェンダ型干渉計62に漏れこんだ主入力信号光は、SW62に通電することによりドロップポート1に出力されない。

【0011】主入力ポート1から入力するドロップ光をドロップポート1に抜き出し、アドポート1のアド光を主出力ポート1に加えるアドドロップ動作は、SW61、SW63に通電し、SW62、SW64に通電しない。すなわち、主入力ポート1から入力されたドロップ光は、SW61に通電することによりマッハツェンダ型干渉計61のスルーポートからマッハツェンダ型干渉計62に入力され、SW62に通電しないことによりドロップポート1から出力される。一方、アドポート1から入力されたアド光は、SW63に通電することによりマッハツェンダ型干渉計63のスルーポートからマッハツェンダ型干渉計64に入力され、SW64に通電しないことにより主出力ポート1から出力される。このとき、マッハツェンダ型干渉計61のクロスポートからマッハツェンダ型干渉計64に漏れこんだドロップ光は、SW64に通電しないことにより主出力ポート1に出力されない。

【0012】このように、本光回路は、マッハツェンダ型干渉計を2回通過する二重干渉計構成であるので、マッハツェンダ型干渉計1つに比べて消光比が高い利点を有する。また、本光回路は石英系光導波路で構成されており、低損失で偏波依存性が小さいスイッチ動作が可能である。

【0013】図14は、従来のファイバ型光減衰器の構成例を示す（参考文献：鈴木 他、「磁気光学型可変元アッテネータ(2)」、1996年電子情報通信学会ニシエトロニクスソサイエティ大会、C-123）。

【0014】本光減衰器は、回転角が可変となるファラデー回転子71と、それを挟む2枚の複屈折きび板72、73から構成される。光ファイバ74から出力された信号光をレンズ75を介して光減衰器に入力し、光減衰器から出力された信号光をレンズ76を介して光ファイバ77に結合する。ここで、磁気光学結晶を飽和させ

たまま、磁化方向を光路に対して回転させることにより、ファラデー回転角を連続的に制御し、光減衰器から光ファイバ77に結合される光強度を調整する。この光減衰器は、光アイソレータとして広く使われているために信頼性が高く、磁気光学結晶に伴うヒステリシスを除去できるので、制御性がよい。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】従来のOADMノードを構成する $2 \times 2$ 光スイッチと光減衰器は、図13、14に示す構成の光部品を縦列に接続していた。したがって、装置が大型化し、また光接続部が多くなることから挿入損失が大きい問題点があり、これらの光回路の集積化が望まれていた。

【0016】なお、光回路の集積化の一例として、従来の石英系光導波路型の $2 \times 2$ 光スイッチにおいて、マッハツェンダ型干渉計を光減衰器として動作させることにより、 $2 \times 2$ 光スイッチと光減衰器を組み合わせた構成が考えられる。例えば、 $2 \times 2$ 光スイッチとして2段のマッハツェンダ型干渉計と、光減衰器として1段のマッハツェンダ型干渉計を縦列に接続する構成がある。

【0017】しかし、従来の $2 \times 2$ 光スイッチは、OADMノードにおけるアド、ドロップ動作に最適化されたスイッチ構成になっていない。すなわち、光システム全体において、OADMノードを通過する主入力信号光に対する低損失化、光減衰動作における偏波無依存化、アドドロップ動作における高消光比化をすべて満足することが重要であるが、石英系光導波路型の $2 \times 2$ 光スイッチはこれらすべてを満たす構成としては不十分である。特に、従来の $2 \times 2$ 光スイッチ構成は、偏波依存性を有する光導波路を用いた場合には、偏波無依存の光減衰動作は不可能になる。

【0018】ところで、OADMノードを構成する $2 \times 2$ 光スイッチと光減衰器において、光減衰器はOADMノードを通過する主入力信号光およびアド光に対して必要であり、ドロップ光に対しては必要ない。一方、アド光とドロップ光の入れ替えでは高い消光比が要求される。

【0019】また、一般的なOADMノードを用いたネットワークとしては、図12に示すOADMノードを複数個リング状に接続し、アド、ドロップ機能を用いて各ノード間の通信を行うものがある。このようなネットワーク上において、図15に示すように、ある特定のノード（センターノード81）から他の複数のノード（リモートノード82）へ情報を分配するマルチキャスト機能の付加が望まれている。なお、センターノード81とリモートノード82はそれぞれ限定されるものではない。このマルチキャスト機能の実現には、各ノードの中に分岐回路を挿入することが容易に考えられる。しかし、単純にアド、ドロップスイッチ部品に分岐回路を組み込む場合には、全てのチャンネルに対して分岐回路要素と分

波後の光検出部を設ける必要が生じ、ノードの大型化およびコスト高を招くこととなる。

【0020】本発明は、以上の点に着目し、アダプドロップ機能と光減衰機能を兼ね備え、さらに挿入損失を最小限に抑え、かつ偏波無依存の光減衰動作と高消光比を実現するADMノードに最適な光回路を提供することを目的とする。

【0021】さらに、本発明は、ADMノードでアダプドロップを行う光回路のドロップポートおよび光受信部を、マルチキャスト動作における出力ポートおよび光受信部として併用することにより、小型で安価、かつ信頼性の高いマルチキャスト機能を実現する光回路およびシステムを提供することを目的とする。

【0022】

【課題を解決するための手段】図1は、本発明の光回路の基本構成を示す。本発明の光回路は、 $2 \times 2$ 可変光分岐兼光減衰部10と光減衰部11を有し、それらを平面基板上に形成したクラッド部とクラッド部より屈折率が高いコア部からなる平面型光導波路で構成する。

【0023】 $2 \times 2$ 可変光分岐兼光減衰部10は、主入力ポート 1から主出力ポート 2に通過する主入力信号光に対しては光減衰器として機能する。また、アダプとドロップ光の入れ替えでは高消光比の光スイッチとして機能し、主入力ポート 1から入力されたドロップ光はドロップポート 3に出力される。

【0024】光減衰部11は、アダポート 4から入力されるアダ光に対して光減衰器として機能する。この光減衰部11を通過したアダ光は、光スイッチとして機能する $2 \times 2$ 可変光分岐兼光減衰部10に入力され、アダ光は主出力ポート 2に出力される。

【0025】このように、本発明の光回路における信号光通過動作は、主入力信号光が光減衰器として機能する $2 \times 2$ 可変光分岐兼光減衰部10を伝搬するだけであるので、挿入損失を最小限に抑え、かつ必要な光減衰量を与えることができる。これは、主入力信号光が $2 \times 2$ 可変光分岐と光減衰器を順次伝搬する従来構成に比べて挿入損失の低減効果は大きい。

【0026】また、アダ、ドロップ動作では、 $2 \times 2$ 可変光分岐兼光減衰部10を光スイッチとして機能させることにより、主入力信号光を高い消光比でドロップ光として抜き出すことができ、かつアダ光をドロップ光に混入させることなく主出力ポート 2に出力させることができる。このとき、アダ光は前段の光減衰部11で所定の光強度に調整される。

【0027】なお、本発明の光回路は、 $2 \times 2$ 可変光分岐と光減衰器が1枚の平面基板内に集積される構成となるので、装置全体の小型化を図ることができる。さらに、集積化により、従来の $2 \times 2$ 可変光分岐と光減衰器の接続に要した挿入損失分を低減することができる。

【0028】

【発明の実施の形態】以下、第1～第7の実施形態において、本発明の光回路をアダ、ドロップ動作に適用する場合について説明し、第8～第9の実施形態において、本発明の光回路をマルチキャスト動作に適用する場合について説明する。

【0029】（第1の実施形態：請求項2、3）図2は、本発明の光回路の第1の実施形態を示す。図において、マッハツェンダ型干渉計21の一方の入力導波路とマッハツェンダ型干渉計23の一方の入力導波路が接続され、マッハツェンダ型干渉計24の一方の入力導波路とマッハツェンダ型干渉計23の他方の入力導波路が接続される。ここで、マッハツェンダ型干渉計21、23が $2 \times 2$ 可変光分岐兼光減衰部10を構成し、マッハツェンダ型干渉計24が光減衰部11を構成する。マッハツェンダ型干渉計21の一方の入力導波路を主入力ポート 1とし、マッハツェンダ型干渉計24の一方の入力導波路をアダポート 4とし、マッハツェンダ型干渉計23の2つの出力導波路をそれぞれドロップポート 3および主出力ポート 2とする。各マッハツェンダ型干渉計の位相調整用薄膜ヒータをSW21、SW23、SW24とする。

【0030】本実施形態では、主入力ポート 1に対して主出力ポート 2は、マッハツェンダ型干渉計21のクロスポート、マッハツェンダ型干渉計23のクロスポートの関係にある。主入力ポート 1に対してドロップポート 3は、マッハツェンダ型干渉計21のクロスポート、マッハツェンダ型干渉計23のスルーポートの関係にある。アダポート 4に対して主出力ポート 2は、マッハツェンダ型干渉計24のクロスポート、マッハツェンダ型干渉計23のスルーポートの関係にある。以上の関係は一例であり、これに限定されるものではない。

【0031】主入力ポート 1から入力する主入力信号光を主出力ポート 2から出力する通過動作は、マッハツェンダ型干渉計21、23の位相差が $N\pi$ （ $N$ は整数）になるようにSW21、SW23の位相量を調整する。このとき、SW21で所定の位相量を与え、マッハツェンダ型干渉計21のクロスポートに出力される信号光強度を制御することにより、主出力ポート 2から出力される信号光強度を制御することができる。すなわち、マッハツェンダ型干渉計21、23を光減衰器として機能させることができる。なお、主入力ポート 1の入力導波路を入れ替えても同様に光減衰器として動作させることができる。

【0032】主入力ポート 1から入力するドロップ光をドロップポート 3に抜き出し、アダポート 4から入力するアダ光を主出力ポート 2に加えるアダ、ドロップ動作は、マッハツェンダ型干渉計21、24の位相差が $N\pi$ 、マッハツェンダ型干渉計23の位相差が $(N+1/2)\pi$ となるようにSW21、SW23、SW24の位相量を調整する。これにより、主入力ポート 1から入力

されたドロップ光はドロップポート 1 から出力され、アドポート 1 から入力されたアド光は主出力ポート 1 から出力される。

【0033】このとき、SW24で所定の位相量を与え、マッハツェンダ型干渉計24のクロスポートに出力されるアド光強度を制御することにより、主出力ポート 1 から出力されるアド光強度を制御することができる。なお、アドポート 1 から入力導波路を入れ替えても、マッハツェンダ型干渉計24を同様に光減衰器として動作させることができる。

【0034】このように、本実施形態の光回路では、低損失が要求される通過動作および高消光比が要求されるアド・ドロップ動作を実現する光スプリング機能と、通過動作時の信号光強度とアド・ドロップ動作時のアド光強度を調整する光減衰機能を兼ねることができる。しかも、3つのマッハツェンダ型干渉計でこれらの機能を実現しているのに対して、4つのマッハツェンダ型干渉計で構成された2×2可変光分岐にさらに光減衰器を必要とした従来構成に比べて大幅に小型化することができる。

【0035】（第2の実施形態：請求項2、4）図3は、本発明の光回路の第2の実施形態を示す。図において、マッハツェンダ型干渉計21の一方の出力導波路とマッハツェンダ型干渉計23の一方の入力導波路が接続され、マッハツェンダ型干渉計24の一方の出力導波路とマッハツェンダ型干渉計23の他方の入力導波路が接続される。ここで、マッハツェンダ型干渉計21、23が2×2可変光分岐兼光減衰部10を構成し、マッハツェンダ型干渉計24が光減衰部11を構成する。マッハツェンダ型干渉計21の一方の入力導波路を主入力ポートとし、マッハツェンダ型干渉計24の一方の入力導波路をアドポートとし、マッハツェンダ型干渉計21の他方の出力導波路をドロップポートとし、マッハツェンダ型干渉計23の一方の出力導波路を主出力ポートとする。各マッハツェンダ型干渉計の位相調整用薄膜ヒータをSW21、SW23、SW24とする。

【0036】本実施形態では、主入力ポート 1 に対して主出力ポート 1 は、マッハツェンダ型干渉計21のクロスポート、マッハツェンダ型干渉計23のクロスポートの関係にある。主入力ポート 1 に対してドロップポート 1 は、マッハツェンダ型干渉計21のスルーポートの関係にある。アドポート 1 に対して主出力ポート 1 は、マッハツェンダ型干渉計24のクロスポート、マッハツェンダ型干渉計23のスルーポートの関係にある。以上の関係は一例であり、これに限定されるものではない。

【0037】主入力ポート 1 から入力する主入力信号光を主出力ポート 1 から出力する通過動作では、第1の実施形態と同様に、SW21で所定の位相量を与えることにより信号光強度を制御することができる。すなわち、マッハツェンダ型干渉計21、23を光減衰器として機能させることができる。なお、主入力ポート 1 の入力導

波路を入れ替えても同様に光減衰器として動作させることができる。

【0038】主入力ポート 1 から入力するドロップ光をドロップポート 1 に抜き出し、アドポート 1 から入力するアド光を主出力ポート 1 に与えるアド・ドロップ動作は、マッハツェンダ型干渉計21、23の位相差が $(N+1)/2$ π、マッハツェンダ型干渉計24の位相差がNπとなるようにSW21、SW23、SW24の位相量を調整する。これにより、主入力ポート 1 から入力されたドロップ光はドロップポート 1 から出力され、アドポート 1 から入力されたアド光は主出力ポート 1 から出力される。アドポート 1 から主出力ポート 1 に出力されるアド光強度は、第1の実施形態と同様にSW24で所定の位相量を与えることにより制御することができる。

【0039】このように、本実施形態の光回路は、低損失が要求される通過動作および高消光比が要求されるアド・ドロップ動作を実現する光スプリング機能と、通過動作時の信号光強度とアド・ドロップ動作時のアド光強度を調整する光減衰機能を兼ねることができる。小型化を図ることができる。

【0040】なお、本実施形態の構成では、主入力信号光の通過動作時にマッハツェンダ型干渉計24の位相差が $(N+1)/2$ πとなるようにSW24の位相量を調整することにより、アドポート 1 から主出力ポート 1 へのアド光の漏洩は、マッハツェンダ型干渉計24、23を2段通過することになるため、高い消光比で阻止される。また、アド・ドロップ動作時の主出力ポート 1 へのドロップ光の漏洩は、マッハツェンダ型干渉計21、23を2段通過することになるため、高い消光比で阻止される。また、アドポート 1 からドロップポート 1 へのパスはつながっていないので、ドロップポート 1 へのアド光の漏洩は完全に遮断される。

【0041】（第3の実施形態：請求項2、4、5）図4は、本発明の光回路の第3の実施形態を示す。本実施形態は、第2の実施形態におけるマッハツェンダ型干渉計21、24とマッハツェンダ型干渉計23との間に、偏波依存性を低減するための波長板31を配置することを特徴とする。これにより、光減衰器として機能させるマッハツェンダ型干渉計の光減衰特性の偏波依存性を低減することができる。

【0042】なお、波長板31を用いることにより光回路の偏波依存性が解消されることは公知になっている。例えば、特開平7-92426号公報では、マッハツェンダ型干渉計の中央部の対称中心の位置に波長板を挿入することにより、マッハツェンダ型干渉計の各分岐特性を偏波無依存にする例が示されている。

【0043】本実施形態では、マッハツェンダ型干渉計21とマッハツェンダ型干渉計23、マッハツェンダ型干渉計24とマッハツェンダ型干渉計23の各中間位置に波長板31を配置することにより、減衰量が調整され



て主出力ポート 1 へ出力される通過信号光およびアド光の偏波依存性を低減することができる。

【0044】（第4の実施形態：請求項2、4、6）図5は、本発明の光回路の第4の実施形態を示す。第3の実施形態のように2段のマッハツェンダ型干渉計の中間に波長板31を配置する構成では、光減衰を行う場合に波長板31を透過するマッハツェンダ型干渉計に与える位相量が異なる結果、光出力に若干の偏波依存性が発生することがある。

【0045】本実施形態では、マッハツェンダ型干渉計21、24のそれぞれの対称中心の位置に波長板31を配置することを特徴とする。そして、波長板31の前後で等しい位相量を与えることにより、光導波路の偏波依存性の有無に関わらず、主出力ポート 1 へ出力される通過信号光およびアド光の偏波依存性を解消することができる。

【0046】（第5の実施形態：請求項2、7）図6は、本発明の光回路の第5の実施形態を示す。第4の実施形態のようにマッハツェンダ型干渉計の対称中心の位置に波長板31を配置する構成では、波長板31の両側に対称に配置する位相調整用薄層ヒータSW21、24の作製が煩雑になり、さらにアーム導波路の長尺化による位相調整が増加することがある。

【0047】本実施形態では、第4の実施形態におけるマッハツェンダ型干渉計21を2段のマッハツェンダ型干渉計21、22で構成し、マッハツェンダ型干渉計24を2段のマッハツェンダ型干渉計24、25で構成し、その間に波長板31を配置することを特徴とする。

【0048】また、本実施形態では、主入力ポート 1 に対して主出力ポート 1 は、マッハツェンダ型干渉計21のクロスポート、マッハツェンダ型干渉計22のクロスポート、マッハツェンダ型干渉計23のクロスポートの関係にある。主入力ポート 1 に対してドロップポート 2 は、マッハツェンダ型干渉計21のスルーポートの関係にある。アドポート 3 に対して主出力ポート 1 は、マッハツェンダ型干渉計24のクロスポート、マッハツェンダ型干渉計25のクロスポート、マッハツェンダ型干渉計23のスルーポートの関係にある。以上の関係は一例であり、これに限定されるものではない。

【0049】主入力ポート 1 から入力する主入力信号光を主出力ポート 1 から出力する通過動作は、マッハツェンダ型干渉計21、22、23の位相差が $N\pi$ （ $N$ は整数）になるようにSW21、SW22、SW23の位相量を調整する。このとき、SW21、SW22で所定の位相量を与え、マッハツェンダ型干渉計21、22のクロスポートに出力される信号光強度を制御することにより、主出力ポート 1 から出力される信号光強度を制御することができる。

【0050】ここで、マッハツェンダ型干渉計21とマッハツェンダ型干渉計22の中間位置に波長板31が配

置されているので、SW21、SW22に等しい位相量を与えることにより、光導波路の偏波依存性の有無に関わらず、減衰量が調整されて主出力ポート 1 へ出力される通過信号光の偏波依存性を本質的に解消することができる。

【0051】主入力ポート 1 から入力するドロップ光をドロップポート 2 へ抜き出し、アドポート 3 から入力するアド光を主出力ポート 1 に加えるアド・ドロップ動作は、マッハツェンダ型干渉計21、23の位相差が $(N+1/2)\pi$ 、マッハツェンダ型干渉計24、25の位相差が $N\pi$ となるようにSW21、SW23、SW24、SW25の位相量を調整する。これにより、主入力ポート 1 から入力されたドロップ光はドロップポート 2 から出力され、アドポート 3 から入力されたアド光は主出力ポート 1 から出力される。

【0052】このとき、SW24、SW25で所定の位相量を与え、マッハツェンダ型干渉計24、25のクロスポートに出力されるアド光強度を制御することにより、主出力ポート 1 から出力されるアド光強度を制御することができる。ここで、マッハツェンダ型干渉計24とマッハツェンダ型干渉計25の中間位置に波長板31が配置されているので、SW24、SW25に等しい位相量を与えることにより、光導波路の偏波依存性の有無に関わらず、減衰量が調整されて主出力ポート 1 へ出力されるアド光の偏波依存性を本質的に解消することができる。

【0053】このように、本実施形態の光回路は、低損失が要求される通過動作および高消光比が要求されるアド・ドロップ動作を実現する光スイッチ機能と、通過動作時の信号光強度とアド・ドロップ動作時のアド光強度を調整する光減衰機能を兼ねることができる。さらに、本実施形態の光回路は、マッハツェンダ型干渉計内に波長板を挿入する第4の実施形態と違い、通常のマッハツェンダ型干渉計を組み合わせた構成であるので、容易な製造技術により偏波無依存化を図ることができる。

【0054】なお、本実施形態の構成では、主入力信号光の通過動作時にマッハツェンダ型干渉計24、25の位相差が $(N+1/2)\pi$ となるようにSW24、SW25の位相量を調整することにより、アドポート 3 から主出力ポート 1 へのアド光の漏洩は、マッハツェンダ型干渉計24、25、23を3段通過することになるので、高い消光比で阻止される。また、アドポート 3 からドロップポート 2 へのアド光の漏洩は、マッハツェンダ型干渉計21、22、23を3段通過することになるので、高い消光比で阻止される。また、アドポート 3 からドロップポート 2 へのパスはつながっていないので、ドロップポート 2 へのアド光の漏洩は完全に遮断される。

【0055】（第6の実施形態：請求項2、8）図7は、本発明の光回路第6の実施形態を示す。本実施形態は、第5の実施形態におけるマッハツェンダ型干渉計22を取り除いた構成である。すなわち、2×2可変充分分光減衰部10を構成するマッハツェンダ型干渉計21、23および波長板31は、第3の実施形態と同様である。光減衰部11を構成するマッハツェンダ型干渉計24、25および波長板32は、第5の実施形態と同様である。

【0056】本実施形態では、主入力ポート1に対してモニタポート1は、マッハツェンダ型干渉計21のクロスポート、マッハツェンダ型干渉計23のクロスポートの関係にある。主入力ポート1に対してドロップポート1は、マッハツェンダ型干渉計21のスルーポートの関係にある。アドポート1に対して主出力ポート1は、マッハツェンダ型干渉計24のクロスポート、マッハツェンダ型干渉計25のクロスポート、マッハツェンダ型干渉計23のスルーポートの関係にある。以上の関係は一例であり、これに限定されるものではない。

【0057】主入力信号光の通過動作時には、SW21、SW23に供給する電力を0とすることにより、主入力ポート1から入力された主入力信号光は主出力ポート1に出力される。主入力信号光の減衰を行う場合には、SW21、SW23に適当な電力を供給することにより、位相変化量に応じて信号光強度を変化させることができる。このとき、SW21、SW23に等しい電力を供給することにより、波長板31に対して主入力信号光の経路は対称となり、減衰量の偏依存性が解消される。

【0058】アド・ドロップ動作時には、SW21、SW23に元々2の位相量を与える電力を供給し、SW24、SW25に供給する電力を0にすることにより、主入力ポート1から入力されたドロップ光はドロップポート1に出力され、アドポート1から入力されたアド光は主出力ポート1に出力される。アド光の減衰を行う場合には、SW24、SW25に適当な電力を供給することにより、位相変化量に応じて信号光強度を変化させることができる。このとき、SW24、SW25に等しい電力を供給することにより、波長板32に対してアド光の経路は対称となり、減衰量の偏依存性が解消される。

【0059】このように、2×2可変充分分光減衰部10および光減衰部11は、第3の実施形態および第5の実施形態と同様に、低損失が要求される通過動作および高消光比が要求されるアド・ドロップ動作が可能であり、通過動作時の信号光強度とアド・ドロップ動作時のアド光強度を調整することができる。さらに、光減衰器として機能させるマッハツェンダ型干渉計の光減衰特性の偏依存性を低減することができる。

【0060】なお、第1～第4の実施形態の構成では、主入力信号光の減衰手段としてマッハツェンダ型干渉計

21のみを用い、マッハツェンダ型干渉計23は専らスイッチング手段として用いていた。それは、主入力信号光の通過動作時に、アドポート1から主出力ポート1へのアド光の漏洩を高い消光比で阻止するには、マッハツェンダ型干渉計24のみでは十分でなく、マッハツェンダ型干渉計24、23の2段で行う必要があったためである。

【0061】それに対して本実施形態の構成では、主入力信号光の通過動作時に、SW24、SW25に元々2の位相量を与える電力を供給することにより、アドポート1から光減衰部11のクロスポートへのアド光の漏洩は、マッハツェンダ型干渉計24、25を2段通過することになるので高い消光比で阻止され、マッハツェンダ型干渉計23への入力強度も極めて小さい。したがって、主入力信号光の減衰手段としてマッハツェンダ型干渉計21、23の双方を用いても、主出力ポート1へのアド光の漏洩を十分に阻止することができる。また、アド・ドロップ動作時の主出力ポート1へのドロップ光の漏洩は、マッハツェンダ型干渉計21、23を2段通過することになるので、高い消光比で阻止される。また、アドポート1からドロップポート1へのパスはつながっていないので、ドロップポート1へのアド光の漏洩は完全に遮断される。

【0062】図8は、石英系光導波路で形成された第6の実施形態の光回路を示す。図において、石英系光導波路はシリコン基板40上に集積されており、石英系コア部41と石英系クラッド部42から構成される。各マッハツェンダ型干渉計21、23、24、25は、2本の入力導波路、2組の3dB方向性結合器、長さの等しい2本のアーム導波路、一方のアーム導波路上に設けられた位相調整用薄膜ヒータSW21、SW23、SW24、SW25、2本の出力導波路から構成される。また、マッハツェンダ型干渉計21、23間の溝43に波長板31が挿入され、マッハツェンダ型干渉計24、25間の溝44に波長板32が挿入される。さらに、主出力ポート1となるマッハツェンダ型干渉計23の出力導波路から光カップラ26を介して分岐したモニタ用ポート1を設ける。

【0063】通過動作時における主入力信号光またはアド・ドロップ動作時におけるアド光の光強度は、モニタ用ポート1の出力光を測定し、その測定値を用いて所定の元減衰量になるようにSW21、SW23、SW24、SW25の駆動電力をフィードバック制御することにより、一定値に設定することができる。

【0064】なお、図8に示すようなモニタ用ポート1を用い、通過動作時における信号光およびアド・ドロップ動作におけるアド光の光強度をモニタしてフィードバック制御に用いる構成は、他の実施形態の光回路にも同様に適用可能である。

【0065】ところで、図7および図8に示す第6の実

施形態では、2枚の波長板31、32が必要であった。しかし、図9に示すように、2×2可変光分岐兼光減衰部10を構成するマッハツェンダ型干渉計21の位置を主入力ポート11寄りにより、1枚の波長板31で対応することができる。本構成は、図6に示す第5の実施形態において、2×2可変光分岐兼光減衰部10を構成するマッハツェンダ型干渉計22を取り除いた状態に対応する。ただし、主入力信号光の減衰を行う場合には、マッハツェンダ型干渉計21、23の各SW21、SW23に等しい電力を供給し、減衰量の偏波依存性を解消する。

【0066】（第7の実施形態：請求項9、9）図10は、本発明の光回路の第7の実施形態を示す。ここでは、図3に示す第2の実施形態の構成に適用した例で説明するが、以上示した第3～第6の実施形態および後述する第8の実施形態の構成にも同様に適用することができる。

【0067】区において、2×2可変光分岐兼光減衰部10を構成するマッハツェンダ型干渉計23の一方の出力導波路を主出力ポート12とし、他方の出力導波路を性能監視ポート13とする。この性能監視ポート13には、マッハツェンダ型干渉計23の位相調整により、主出力ポート12に出力されるはずの主入力信号光またはアド光が性能監視のために出力される。主入力信号光またはアド光の性能監視項目としては、例えば波長（光周波数）、光S/N、元出力パワー、符号誤り率がある。各監視項目に応じた検出器を性能監視ポート13に配置することにより、必要なときに各項目を監視することができる。

【0068】本実施形態では、主入力ポート11に対して性能監視ポート13は、マッハツェンダ型干渉計21のクロスポート、マッハツェンダ型干渉計23のスルーポートの関係にあり、アドポート14に対して性能監視ポート13は、マッハツェンダ型干渉計24のクロスポート、マッハツェンダ型干渉計23のクロスポートの関係にある。以上の関係は一例であり、これに限定されるものではない。

【0069】主入力ポート11から入力する主入力信号光の監視動作は、マッハツェンダ型干渉計21の位相差が $N\pi$ 、マッハツェンダ型干渉計23の位相差が $(N+1/2)\pi$ となるようにSW21、SW23の位相量を調整する。これにより、主入力ポート11から入力された主入力信号光は性能監視ポート13から出力される。このとき、マッハツェンダ型干渉計24の位相差が $(N+1/2)\pi$ となるようにSW24の位相量を調整することにより、アドポート14からアド光が入力されたとしても、性能監視ポート13へのアド光の漏洩はマッハツェンダ型干渉計24、23を2段通過することになるので、高い消光比で阻止される。これにより、主入力信号光の性能を正確に測定することができる。

【0070】また、アドポート14から入力するアド光の

監視動作は、マッハツェンダ型干渉計24、23の位相差が $N\pi$ となるようにSW24、SW23の位相量を調整する。これにより、アドポート14から入力されたアド光は性能監視ポート13から出力される。このとき、マッハツェンダ型干渉計21の位相差が $(N+1/2)\pi$ となるようにSW21の位相量を調整することにより、主入力ポート11からドロップ光が入力されたとしても、性能監視ポート13へのドロップ光の漏洩はマッハツェンダ型干渉計21、23を2段通過することになるので、高い消光比で阻止される。これにより、アド光の性能を正確に測定することができる。

【0071】なお、図8に示すドロップ用ポート14は、通過動作時における主入力信号光またはアドドロップ動作時におけるアド光の光強度をモニタし、それぞれの減衰量をフィードバック制御するために用いられる。本実施形態は、光回路が通過動作またはアドドロップ動作のいずれの状態にあっても、必要に応じてマッハツェンダ型干渉計23の位相調整を行うことにより、主出力ポート12に出力される主入力信号光またはアド光を性能監視ポート13に切り替え可能にしたものである。

【0072】（第8の実施形態：請求項2、10）マルチキャスト動作の一例として、図15にOADMリング網における動作概要を示す。マルチキャストする波長をあらかじめ決めておき、センターノード81のマルチキャスト用チャンネルから出力された光信号が複数のリセーブノード82に分配される。ここで、リング網内の任意のノードをセンターノードとして選ぶことができ、かつ任意のチャンネルの波長をマルチキャスト動作で、アドドロップ動作とマルチキャスト動作は任意に組み合わせで併用できることとする。このように、アドドロップ動作とマルチキャスト動作をリング網上で同時に実現するには、OADMノードを構成する各チャンネルのアドドロップ用光部品が分岐機能を備え、かつアドドロップ用光路切替スイッチと分岐回路のどちらか一方を任意に選択できることが必要となる。

【0073】図11は、本発明の光回路をマルチキャスト動作させる場合の駆動方法を示す。ここでは、図3に示す第2の実施形態の構成に適用した例で説明するが、以上示した他の実施形態の構成にも同様に適用することができる。

【0074】センターノードから送られてきた波長多重光信号は分波器で分波され本発明の光回路の主入力ポート11に入力される。ここで、マッハツェンダ型干渉計21のSW21の位相量をドロップポート14への分岐比が $1/m$ （ $m$ は正数）になるように調整し、マッハツェンダ型干渉計23のSW23の位相量を位相差が $N\pi$ となるように調整する。簡単のため、光回路の損失を無視すると、主入力ポート11に入力された主入力信号光の $1/m$ の強度である光信号がドロップポート14に出力され、センターノードから送られてきたマルチキャスト情報と

なる。また、主入力ポート 1 に入力された主入力信号光の  $(m-1)/m$  の強度である元信号が主出力ポート 1 に出力され、次のノードに転送される。

【0075】このように、ドロップポート 1 をマルチキャスト動作における出力ポートと兼用することにより、ドロップポートに接続される光受信部をマルチキャスト単光受信部として使用することが可能となり、小型で低コストなマルチキャスト動作を実現することが可能となる。

【0076】（第9の実施形態：請求項11）ここでは、図11に示した光回路をマルチキャスト用リングネットワークに適用した実施例を示す。ネットワークの構成は図15に示した通りである。すなわち、波長多重信号光を送出するセンターストランドと、センターストランドからの波長多重信号光を増幅・分岐して、特定の波長の信号光を分岐して受信し、残りの信号光を他の波長の信号光として合波・増幅して波長多重信号光として送出するリセートポートを複数個をリング状に連結した構成である。ここで、信号光の分岐部として図11に示した光回路を用いる。

【0077】マッハツェンダ型干渉計21のSW21の位相量の調整が任意に設定できることから、受信部の最低受信感度を確保しつつ、リング網のレベルダイナミクスに合わせて分岐比を設定することができる。すなわち、波長多重信号光のチャンネル間での信号光の光強度ばらつきに対してマルチキャスト動作の信頼性を確保するため、分岐動作として光受信部の最低受信感度以上の光強度がドロップポートから出力されるよう最低分岐比を設定し、かつ主入力信号光の光強度の変化に応じて分岐比調整することが可能となる。

【0078】例えば、本発明光回路の主入力ポートに各チャンネル毎に $-4 \sim 0$  dBmの強度範囲でばらついた主入力信号光が入力される場合を想定する。この場合、マルチキャスト動作としてドロップポートへの分岐比が1/2以上（ $m$ を2以下）の範囲で可変するように設定する。ここで、ドロップポートに設けた光受信部の最低受信感度は $-10$  dBmとする。光回路の挿入損失を3 dBとすると、主入力信号光の強度が最低の $-4$  dBmである場合でもドロップポートからの光出力は常に $-10$  dBm以上確保できる。したがって、主入力信号光の光強度がチャンネル間ばらつきにより変化する場合でも、必ずマルチキャスト情報は抽出されることとなる。さらに、 $-6$  dBmの主出力信号光となる波長について主出力信号光の光強度を $-10$  dBmになるように（この場合ドロップポートへは $-2$  dBmの光出力となる）ドロップポートへの分岐比を約0.86に設定する。すると、 $-4 \sim 0$  dBmの強度範囲でばらついた主入力信号光が、分岐比の制御により、受信部の最小受信感度を確保しつつ主出力信号光強度として $-10$  dBmの一定値にそろえることができる。

【0079】これにより、光増幅器の入力光強度を一定

にそろえることができる。また、複数のノードを伝搬させる波長多重伝送において、波長多重信号光のレベルばらつきが原因となる光信号の減少にともなうS/Nの劣化を防ぐことができる。さらに、光信号の増大にともなう非線形による波形歪みを防ぐことができ、主信号光の品質を確保することができる。

【0080】ドロップポートへの最低分岐比を確保する方法として、(1) 位相調整する制御回路において常にドロップ電力がかかるように設定し、ドロップポートにある一定量以上の光信号が出力される方法、(2) 対称マッハツェンダ型干渉計を構成する3 dB全分岐器の分岐比を50%からずらすことで、任意の位相調整量に対して常にドロップポートからある一定量以上の光信号が出力される方法、(3) 2本のアーム導波路間に位相差を設けた非対称マッハツェンダ型干渉計を用い、通過動作におけるスイッチング電力以下の動作電力で位相においてドロップポートからある一定量以上の光信号が出力される方法が挙げられる。

【0081】以上、光回路の第2の実施形態を例にとりてマルチキャスト動作の駆動方法を示したが、同様な動作を本発明の光回路の他の実施形態にも適用することができる。すなわち、第1の実施形態（図2）では、マッハツェンダ型干渉計21の位相差が $N\pi$ となるように調整し、マッハツェンダ型干渉計23でドロップポートへの分岐比が $1/m$ になるように調整する。第3、第4、第7の実施形態（図4、5、10）では、マッハツェンダ型干渉計21でドロップポートへの分岐比が $1/m$ になるように調整し、マッハツェンダ型干渉計23の位相差が $N\pi$ となるように調整する。ただし、第7の実施形態において、マッハツェンダ型干渉計23の位相差が $(N+1/2)\pi$ となるように調整すれば、性能監視ポート 1に通過信号光が $(m-1)/m$ の強度で出力される。

【0082】第5の実施形態（図6）は、SW21、SW22に等しい位相量を与えて主出力ポート 1に出力される通過信号光の偏波依存性を解消することが目的であり、マッハツェンダ型干渉計21でドロップポートへの分岐比が $1/m$ になるように調整すると、マッハツェンダ型干渉計22でもスルーポートへの分岐比が $1/m$ になるように調整する必要がある。そのため、マッハツェンダ型干渉計23の位相差が $N\pi$ となるように調整しても、主出力ポート 1に出力される主入力信号光の強度は $((m-1)/m)^2$ になる。ただし、マルチキャスト動作のときには偏波依存性を解消を行わず、マッハツェンダ型干渉計22の位相差が $N\pi$ となるように調整し、主出力ポート 1に出力される通過信号光の強度が $(m-1)/m$ になるように選択することは可能である。なお、マッハツェンダ型干渉計23の位相差が $(N+1/2)\pi$ となるように調整すれば、上記の選択により性能監視ポート 1に出力される通過信号光の強度は $((m-1)/m)$

2 または  $(m-1)/m$  のいずれかになる。

【0083】第6の実施形態（図7～9）についても、マルチキャスト動作と、通過信号元の偏波依存性の解消と、性能監視ポートへの分岐の割合は第5の実施形態（図6）と同様である。ただし、マルチキャスト動作時の通過信号元を性能監視ポートに分岐することと、通過信号元の偏波依存性の解消を同時に行う場合には、マッハツェンダ型干渉計23でスルーポートへの分岐比が  $1/m$  に決まるので、性能監視ポートに出力される通過信号元の強度は  $(m-1)/m^2$  となる。

【0084】なお、マルチキャスト動作を第6の実施形態（図8）で記述したモニタ用ポートを用いたフィードバック制御と併せて動作させることは可能である。すなわち、ドロップポートへの最低分岐比を確保した状態で、主出力信号元の強度が一定値になるようにフィードバック制御することで、受信器の最低受信感度を確保しつつリング網のレベルダイナミクスに合わせた分岐比を制御する、信頼性の高いシステムを実現することができる。

【0085】以上、本発明の光回路をリングネットワークを構成するOADMノードに適用した場合を説明したが、同様の光回路を用いることにより、複数のノードからなるバスネットワークにおいてもマルチキャスト機能を実現することができる。

【0086】（他の実施形態）以上の実施形態では、光回路のスイッチ要素を位相差0である対称マッハツェンダ型干渉計を基本とした。これらを部分的に、あるいは全て  $1/2$  波長位相差を設けた非対称マッハツェンダ型干渉計とすることも可能である。また、位相調整手段として熱光学ヒータを用いたが、これは石英系光導波路の位相を高精度に調整できるためである。したがって、他の位相調整手段、例えばハイブリッドの手法により  $\text{LiNbO}_3$  結晶を位相調整部に搭載し、電極を設けて電気光学効果により位相調整する構成でもよい。

【0087】また、マッハツェンダ型干渉計を構成する3dB合分波器として方向性結合器を用いたが、3dB合分波器として機能する光回路であれば他の構成のものでもよい。例えば、作製誤差に対して結合率の変化が小さいMMIカプラは好適である。

【0088】本発明の光回路の  $2 \times 2$  可変光分岐兼光減衰部では、本発明の実施形態で示したようにマッハツェンダ型干渉計のクロスポート間を接続することが望ましい。これは、作製誤差によりマッハツェンダ型干渉計を構成する2つの3dB合分波器の分岐比が等しく3dBからずれた場合には、クロスポート間の配線により消光比を高めることができるからである（参考文献：小湊他、「マッハツェンダ型干渉計で構成した導波路型光WDM回路」、電子情報通信学会論文誌 Vol. J73-C-I, p. 354, 1990）。

【0089】光減衰部を構成するマッハツェンダ型干渉

計に関しても、 $2 \times 2$  可変光分岐兼光減衰部同様、作製誤差を考慮した場合、本実施形態で示したように  $2 \times 2$  可変光分岐兼光減衰部への接続はクロスポートを用いることが望ましい。ここで、 $2 \times 2$  可変光分岐兼光減衰部及び光減衰部の光減衰動作は、対称マッハツェンダ型干渉計を用いた場合、通電過熱しない状態で光出力が最大となり、電力を印加するに伴い出力強度が減衰する制御となる。光減衰部動作として通電過熱しない状態で光出力が最小となり、電力を印加するに伴い光強度を増加させるには、 $1/2$  波長位相差を設けた非対称マッハツェンダ型干渉計を用いたクロスポートで接続することとなる。対称マッハツェンダ型干渉計と非対称マッハツェンダ型干渉計の使い分けには、例えば、位相調整部を制御する電気回路が何らかの理由で故障することを考慮に入れる場合、 $2 \times 2$  可変光分岐兼光減衰部のマッハツェンダ型干渉計を対称型、光減衰部のマッハツェンダ型干渉計を非対称型とすると、位相調整用電力0において主信号光は主出力ポートから出力され、アド光は主出力ポートから出力されない。したがって、アドドロップ動作は不能となるものの、通過動作は保証されることとなる。

【0090】また、以上の実施形態では、アドドロップ動作時におけるマッハツェンダ型干渉計の位相差を  $N\pi$ 、または  $(N+1/2)\pi$ （ただし、 $N$ は整数）と一般化して記述したが、 $N$ が0となるような電力を加える場合において消費電力を最小にでき、実質的に最大限の効果が得られることは当然である。

【0091】さらに、以上の実施形態では光回路を石英系光導波路で構成したが、これは石英系光導波路が低損失であるためであり、他に例えば  $\text{LiNbO}_3$ 、高分子結晶、半導体を用いた光導波路を用いてもよい。

【0092】さらに、以上の実施形態では1つの光回路を構成する場合について示したが、本光回路をアレー状に複数個集積化した構成としてもよい。これにより、OADMノードの一層の小型化が可能となる。

【0093】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の光回路は、回路サイズを最小限にとどめて挿入損失を最低限に抑制することができる。また、高い消光比でスイッチ動作し、かつ偏波依存性のない光減衰動作を兼ね備えた光回路とすることができる。

【0094】特に、請求項2～8に示すように、 $2 \times 2$  可変光分岐兼光減衰部を2段以上のマッハツェンダ型干渉計で構成することにより、スイッチ動作における高い消光比を得ることができる。また、請求項5～8に示すように、 $2 \times 2$  可変光分岐兼光減衰部および光減衰部において、1段または2段のマッハツェンダ型干渉計の中間位置に波長板を配置することにより、主入力信号光またはアド光が通過する光路が波長板に対して対称な配置となるので、偏波依存性のない光減衰動作が可能となる。

【0095】さらに、本発明の光回路は、従来の光導波路製造技術を用いて容易に製作することができる。したがって、本発明の光回路は、OADMノードを小型化する手段として非常に有用である。

【0096】請求項9の光回路は、新たに分岐回路または切替回路を付加することなく、性能監視ポートに必要に応じて主入力信号光またはアト光を出力することができ、主入力信号光またはアト光の性能を正確に測定することができる。

【0097】請求項10の光回路は、新たに分岐回路を設けることなく、簡単にOADMノードを用いたネットワーク上で信頼性の高いマルチキャスト動作を必要に応じて付加的に実現することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の光回路の基本構成を示すブロック図。

【図2】本発明の光回路の第1の実施形態を示す平面回路図。

【図3】本発明の光回路の第2の実施形態を示す平面回路図。

【図4】本発明の光回路の第3の実施形態を示す平面回路図。

【図5】本発明の光回路の第4の実施形態を示す平面回路図。

【図6】本発明の光回路の第5の実施形態を示す平面回路図。

【図7】本発明の光回路の第6の実施形態を示す平面回路図。

【図8】石英系光導波路で形成された第6の実施形態の光回路を示す図。

【図9】本発明の光回路の第6の実施形態の変形例を示す平面回路図。

【図10】本発明の光回路の第7の実施形態を示す平面回路図。

【図11】本発明の光回路をマルチキャスト動作させる

場合の駆動方法を説明する図。

【図12】OADMノードの概略構成を示すブロック図。

【図13】従来の石英系光導波路型スイッチの構成例を示す平面回路図。

【図14】従来のファイバ型光減衰器の構成例を示す図。

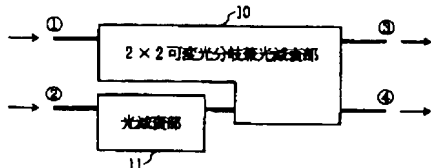
【図15】リング網におけるマルチキャスト動作を説明する概念図。

#### 【符号の説明】

- 10 2×2可変光分岐兼光減衰部
- 11 光減衰部
- 21～25 マッハツェンダ型干渉計
- 26 出力ポート
- 31, 32 波長板
- 40 シリコン基板
- 41 石英系コア部
- 42 石英系クラッド部
- 43, 44 溝
- 45, 52 伝送用光ファイバ
- 46 プリアンプ
- 47 分岐器
- 48 アダプトコップ用の2×2光スイッチ
- 49 光減衰器
- 50 合波器
- 51 ポストアンプ
- 61～64 マッハツェンダ型干渉計
- 71 フラダロー回転子
- 72, 73 複屈折くさび板
- 74, 77 伝ファイバ
- 75, 76 レンズ
- 81 センターノード
- 82 リモートノード

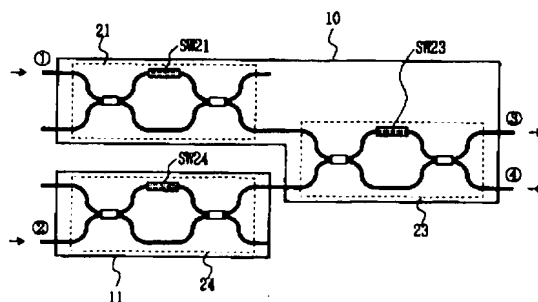
【図1】

本発明の光回路の基本構成



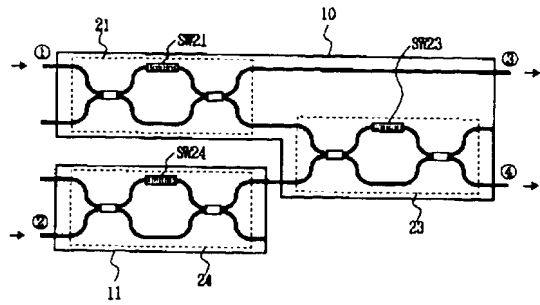
【図2】

本発明の光回路の第1の実施形態



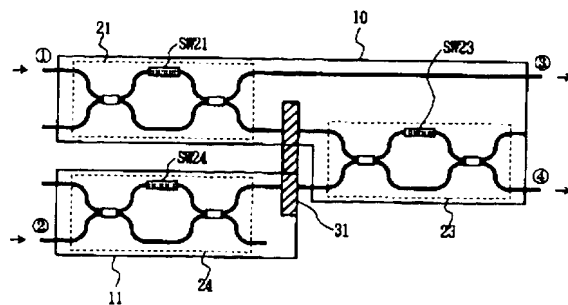
【図 3】

本発明の光回路の第 2 の実施形態



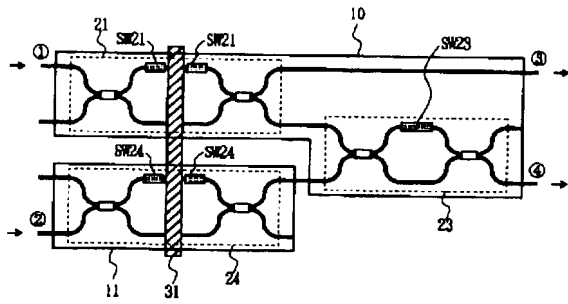
【図 4】

本発明の光回路の第 3 の実施形態



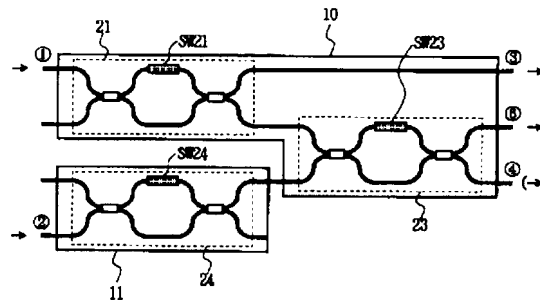
【図 5】

本発明の光回路の第 4 の実施形態



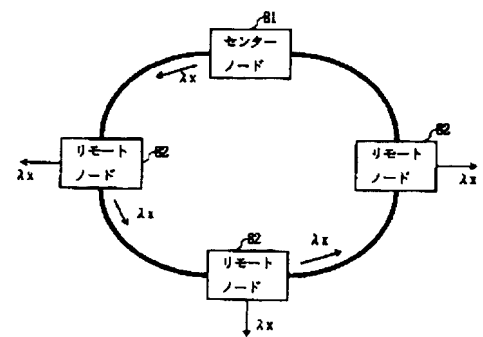
【図 10】

本発明の光回路の第 7 の実施形態



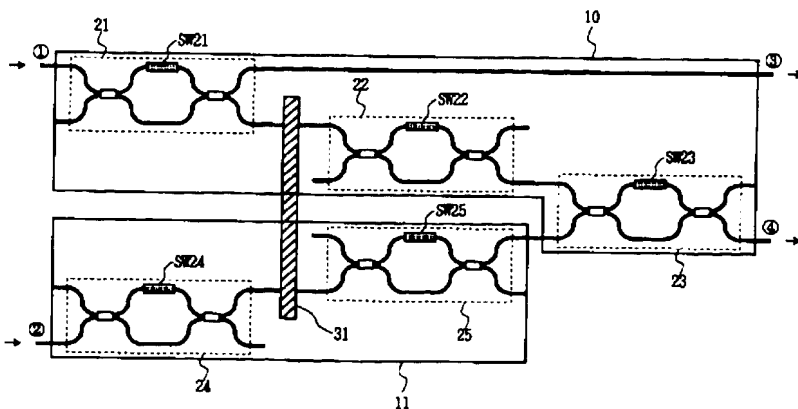
【図 15】

リング網におけるマルチキャスト動作を説明する概念図



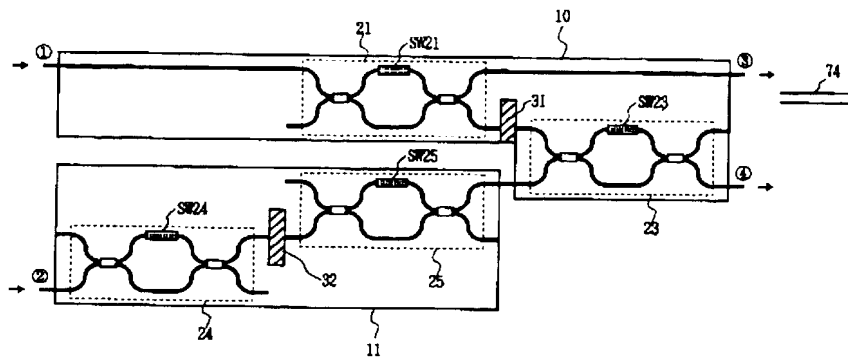
【図 6】

本発明の光回路の第 5 の実施形態



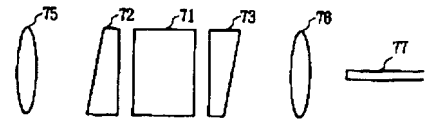
【図 7】

本発明の光回路の第 6 の実施形態



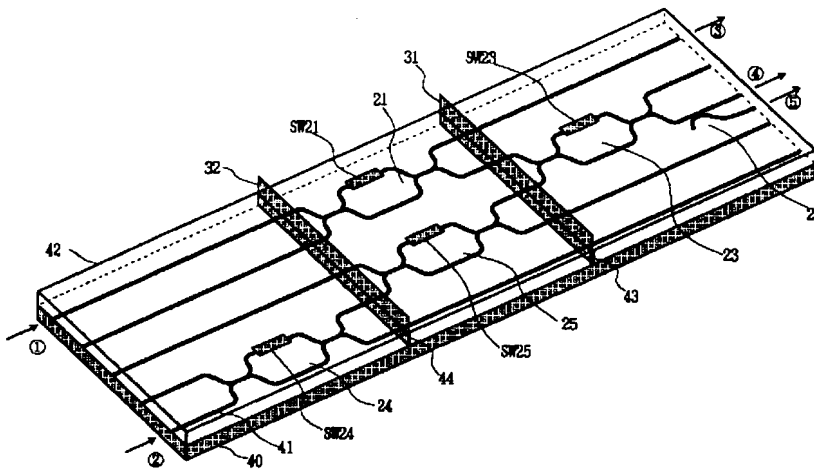
【図 14】

従来のファイバ型光減衰器の構成例



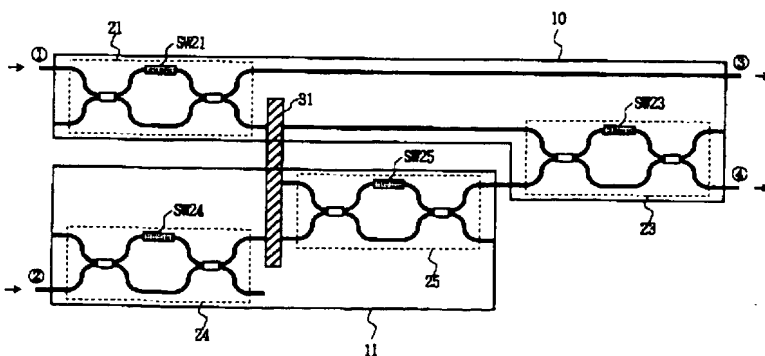
【図 8】

石英系光導波路で形成された第 6 の実施形態の光回路



【図 9】

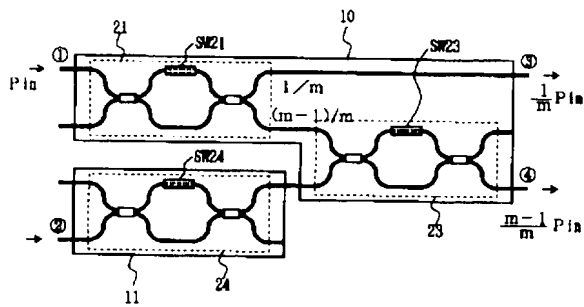
本発明の光回路の第 6 の実施形態の変形例





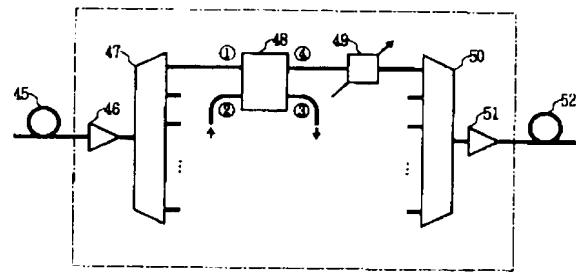
【図11】

本発明の光回路をマルチキャスト動作させる場合の駆動方法



【図12】

OADMノードの概略構成



【図13】

従来の石英系光導波路型スイッチの構成例

